罗伯特·波义耳

——把化学确立为科学的人

刘劲生 （中国科学院成都分院）

人类的化学知识，可以追溯到几千年前的古代．到了十七世纪初，人们在生产和生活的各个领域，特别是在金属冶炼、药物制造两大部门中，积累了相当丰富的化学知识．不过当时的化学知识还相当零乱，亟待收集整理．化学理论也非常空虚．化学家盲目地信奉着以亚里斯多德（Aristotle）为代表的逍遥派哲学家的"四元素"学说（它形成了炼金术的理论基础）以及医药化学家的"三元素"学说．著名的英国学者罗伯特·波义耳（Robert Boyle，1627～1691）第一个在这荆棘载途的土地上开出一条路来，指引化学沿着正确的道路前进，从而把化学确立为科学．

罗伯特·波义耳于1627年1月25日生于爱尔兰利斯莫尔城．他的父亲是科克的首任伯爵和伊丽莎白时代的探险家．波义耳是十四个兄弟姊妹中最小的一个．在他三岁的时候，母亲不幸去世．也许因为这个原因，波义耳从小就体弱多病，身体一直不怎么好．

童年时，他并不显得特别聪明．他安静，有点口吃，没有哪样游戏使他喜欢．但是他勤恳好学，在家庭教师的教育下，拉丁语和法语都有很大的进步．八岁那年，父亲将他送到伦敦西郊的伊顿公学去学习．这是一所专为贵族子弟办的寄宿学校．他在这里学习了三年多时间．

1638年，波义耳回到他父亲在多塞特郡新购的庄园斯塔尔桥住了个短时期，便同哥哥弗兰西斯（Francis）一起到欧洲去了．波义耳兄弟在当时欧洲的教育中心之一日内瓦度过了二年时光．一个名叫马可伯斯（Monsieur Marcombes）的私人教师教他们法语、实用数学、艺术等课程．当时的欧洲还沉浸在宗教改革的余波中，而瑞士是新教加尔文教派的根据地之一．波义耳深受新教运动的影响，直到晚年，他都是一名虔诚的宗教徒．

1641年春，马可伯斯带领波义耳兄弟出发到欧洲各国游历．年底到达意大利佛罗伦萨．文艺复兴时期的科学和艺术大大激发了年青人的科学热情．他对伽利略的《关于两大世界体系的对话》很感兴趣，对这位近代物理学的开拓者更是推崇备至．

次年五月，波义耳从罗马到达法国马赛．这时英国内战爆发，家中经济发生困难．父亲要波义耳兄弟迅速返国．波义耳渴望继续学习，在弗兰西斯走后，他又回到日内瓦住了两年时间．到1644年波义耳才返回英国．正在他返国的途中，王党分子老波义耳在一次战役中受重伤，不治去世．这一年波义耳十七岁．

波义耳只好随一个姐姐迁居伦敦．他在伦敦结识了科学教育家塞缪尔·哈特利伯（Samuel Hartlib），后者鼓励他学习医学和农业．波义耳本人经常生病，所以他选中了医学．当时的医生都自己配制药物，这很快就使波义耳对化学发生了兴趣．过了几个月，由于厌倦首都上层社会的空虚无聊，波义耳又迁往多塞特郡他父亲的庄园斯塔尔桥离群索居，在这里一住就是八年．他在给姐姐的信中写道："我已完全成了一个乡下佬了．"在这里他开始了科学实验活动．

不过斯塔尔桥的生活对他的科学活动毕竟带来很多不便之处．1654年他迁往牛津，在牛津大学附近租了一幢房子，建立起自己设备齐全的实验室．在他的实验室中有很多助手，其中一些后来也成了著名的学者，罗伯特·虎克（Robert Hooke）就是其中一个．这些助手在波义耳领导下进行观察和做实验，并帮助波义耳处理书信，收集最新的科学报道．他在这里一直住到1668年．他的几种最重要的科学著作都是在这段时期写成的．此外，他还学习了希伯莱语和希腊语，研究《圣经》，写了一些关于宗教的著作．

《关于空气的弹性及其物理力学的新实验》是波义耳第一部重要著作，初版于1660年．他在这篇论文中叙述了他在研究空气的压力和体积方面的工作．这项工作是他和虎克在1655年开始的．在这前一年，德国马德堡市市长奥托·葛利克（Otto Guericke）发明了抽气机，并表演了著名的马德堡半球实验．波义耳得知葛利克的发明后，即与虎克一起改进抽气机．经过几年研究，终于制造出比葛利克效果更好的抽气机．波义耳就用这台抽气机从事空气弹力的研究工作．

实验方法是这样的：波义耳将一端封闭的U形管充入水银，用活塞压开口一端的水银，发现封闭一端的空气柱高度随活塞的压力而变化．不过当时波义耳并未充分理解这一事实的意义．兰开夏郡的物理爱好者理查德·汤利（Richard Tawnley）重复了波义耳的实验，并指出空气具有压力是造成这一现象的原因，

他将这一点告诉了波义耳．波义耳重新审查了自己的实验，并且推导出空气压力和它所占体积的数学关系．他又用抽气机将部分空气抽出，在小于大气压力条件下做实验，前面这个结论仍然适用．这使他感到非常满意．1662年，《新实验》印行第二版，波义耳在这一版中明确指出："空气的弹性和它的体积成反比"，他把它称为汤利定律，这就是我们现在称的波义耳定律．在《新实验》第二版中，他还补充了一个附录，驳斥圣芳济会僧侣李那斯（Jesuit Francis Linus）的观点．后者认为，U形管中水银面的升高不是由于空气的压力，而是由于水银微粒和空气微粒间的附着力所致，这观点代表了相当大一部分学者的看法．

波义耳的《怀疑派化学家》是化学史上一部划时代的著作．书的全名标明了它的主要内容：《怀疑派化学家：或化学一物理学的疑点和悖论，涉及炼金术士普遍推崇并为之辩护的而又为化学家通常认为实在的诸种要素》．它最初于1661年以匿名的形式出版，不过很快就被译成拉丁文和欧洲各国文字，广为流行．出过好几版后，波义耳才将他的名字署上．

《怀疑派化学家》由一个序言和六章组成．全书仿照伽利略的风格，是用对话形式写成的．在一个炎热的夏天，四个哲学家在一棵大树下争论起来，他们分别代表怀疑派化学家即波义耳本人、逍遥派哲学家、医药化学家和中立化学家．书的前五章提出问题，最后一章主要阐述怀疑派化学家的观点．经过一番论战，怀疑派化学家就把逍遥派哲学家和医药化学家的种种谬论驳得体无完肤了．

《怀疑派化学家》在化学史上的意义可以从下面三个方面来说明．首先，作者认识到化学值得为其自身的目的去进行研究，而不是仅仅从属于医学或作为炼金术去进行研究．他写道："化学家们至今遵循着过分狭隘的原则，这原则不要求特别广阔的视野，他们把自己的任务看作是制造药物，提取和转化金属．我却完全从另一个观点看待化学：我不是作为医生，也不是作为炼金家，而是作为哲学家来看待它的……如果人们关心真正的科学成就较之个人利益为重，如果把自己的精力都献给了做实验，收集并观察事实，那么他就很容易证明，他们在世界上建立了伟大的功勋．"在这里，波义耳明确地将化学单独划为一门科学，并提出了它的任务．

其次，波义耳认为，实验的方法和与此相联系的对自然界的观察是形成科学思维的基础．他认为，化学应该仅仅用实验方法而不是用抽象的空谈来确立自己的定律．化学史家封·迈耶尔（E. von Meyer）认为，仅这一点，就是波义耳的不朽功绩．

第三，他为化学元素下了一个清楚的定义．他通过实验证明，逍遥派哲学家的"四元素"和医药化学家的"三元素"是根本站不住脚的．他指出："我指的元素应当是某些不由任何其他物质构成的原始的和简单的物质或完全纯净的物质"，"是确定的、实在的、可觉察到的实物，它们应该是用一般化学方法不能再分解得更简单的某些实物"．当然，从现代化学观点看，波义耳所定义的元素实际上是单质．我们知道，单质就是同一元素组成的物质，所以波义耳所定义的元素与现代元素已十分相近了．而且他正是以这一定义将单质与化合物和混合物区别开来的．波义耳认为，确定哪些物质是元素，哪些物质不是元素，其唯一的手段是实验．波义耳认为金、银、汞、硫黄这些物质都是元素．

这样，波义耳就把新思想带进了化学，解决了当时化学在理论上所面临的一系列问题，为化学科学的健康发展扫平了道路．如果把伽利略的《对话》作为经典物理学的开始，那么波义耳的"对话"可以作为近代化学的开始，真是相映成趣．

波义耳还注意到很多与物质构造有关的现象，例如气体是可以压缩的，液体蒸发和固体升华可以弥散于整个空间，大块的盐溶解后可以通过滤布等等，从而发展了他的微粒哲学思想．

他在《怀疑派化学家》和比它早几个月、也是匿名出版的《生理学论文集》以及随后的很多著作中，都提到了物质的微粒学说．他认为，所有物质都可以分解为具有不同尺寸、形状和运动状态的微粒．这些微粒互相联结，形成大量不易分解的原始硬块．在这里可以看出一些原子分子学说的雏形．这种思想直接来源于德谟克利特（Demokritos）和伊壁鸠鲁（Epikouros）的原子论，而与亚里斯多德的学说相悖逆．波义耳后来用这一学说解释空气的弹性、物体的性质、物体的颜色、光学现象、化学反应，其中很多是不无道理的．后来道尔顿（J. Dalton）创立原子学说时，不能不说从他的前辈那里受到了启发和影响．因此，说波义耳是原子分子学说的先驱者，他也是当之无愧的．

由于波义耳发表大量反对亚里斯多德哲学的见解，引起牛津大主教对这位新教徒的不满．不过波义耳不在乎这个，他更加勤勉地投身于科学．这期间他多次拒绝按他的出身而应享有的贵族称号．与此同时，他在1665年被遴选为牛津大学荣誉物理学博士，过了三年，他成了皇家学会的会员．

早在1645年，一群对新科学感兴趣的人定期聚集在伦敦大学格雷瑟姆学院讨论科学问题．他们自称为"哲学会"．大约在1648年，由于英国内战，格雷瑟姆学院的一部分教授迁往牛津．在那里，他们在奥得汉学院的约翰·威尔金斯家里继续讨论科学问题．

波义耳还在斯塔尔桥的时候，就与哲学会的成员保持着密切的联系．波义耳迁居牛津后，立即以饱满的热情参加哲学会的活动，他在通信里把这个组织称为“无形的大学”．1660年国王查理二世复位时，哲学会的成员迁回伦敦，并于11月28日成立促进物理、数学的实验科学学会，约翰·威尔金斯被选为该组织的第一任会长．这一天通常就被认为是英国皇家学会活动的开始．1662年，查理二世赐给学会一张皇家特许状，在这张特许状里，学会定名为皇家学会．著名数学家布朗克勋爵(Lord Brounker)被选为皇家学会第一任会长．波义耳在这一段时间里一直是皇家学会的核心人物和发起人．不过当皇家学会在伦敦成立的时候，波义耳身在牛津，所以他不属于第一批正式会员．

1868年波义耳的姐姐兰尼拉夫子爵夫人(Lady Ranelagh)写信告诉他姐夫去世的消息，他便决定从牛津迁往伦敦和姐姐住在一起．他姐姐的寓所当时是激烈的共和派分子经常聚会的场所，盲诗人弥尔顿也经常到这儿来．不过，波义耳对政治讨论不感兴趣．他在兰尼拉夫夫人的寓所内有一套自己的房子和实验室．他关心的只是做实验．从此，波义耳的科学活动便与皇家学会密切联系起来，他后来的大部分论文都是在皇家学会的《哲学通报》上发表的．1680年，波义耳被选为皇家学会会长，但他拒绝担任这一职务．虽然如此，他仍然是科学家公认的领袖之一．

波义耳在实验中非常注意物质颜色的变化．他在1664年发表的《关于颜色的实验和思考》及1665年发表的《酸碱假设的思考》中注意到，所有的酸都能使紫罗兰的蓝色汁液变红，而所有不能这样做的物质都不是酸．他同时还注意到，所有的碱都将紫罗兰的汁液变成绿色．他还试验了石蕊地衣、堇菜、五倍子、矢车菊、胭脂虫、姜黄以及许多动植物浸液对酸碱的颜色反应．他认为，这些动植物的汁液都可以作为酸碱指示剂，其中一些指示剂到现在还是经常应用的．波义耳还用这些汁液把纸浸透，然后烘干．把这种纸片放进被试验的溶液中，只要纸片改变了颜色，就能证明这种溶液是酸性还是碱性的．

1685年，波义耳发表《矿泉水自然实验史简编》，相当全面地概括总结了关于水溶液的各种检验方法和检定反应．他不仅注意到化学反应中溶液颜色的变化，而且他还提到：铜盐使火焰带绿色，硝酸和盐酸与氨反应产生白烟，钙盐和硫酸生成白色沉淀……所有这些现象，都可以用来作为鉴定物质的反应．所以我们说，波义耳是定性分析的奠基者．

在波义耳以前的化学家认为，火是万能的分解工具，一切物质遇火分解．通过煅烧金属或加热物质分解所产生的都是元素．波义耳不同意这种看法．1673年，波义耳发表《使火与焰稳定并可称重的新实验》，其中描述在空气中焙烧金属，其重量增加，这说明煅渣决不是金属分解以后留下的什么“土”元素，而是比金属本身还要复杂的物质．波义耳认为，这种物质就是金属与火微粒的结合物．在这个实验中．波义耳使用了天平，这就把定量的手段带进化学中．在称煅渣重量的时候，波义耳是把容器塞打开称重的，这使得他未能发现物质不灭定律．可惜的是，尽管波义耳注意到了金属的变化，但是他忽略了与金属接触的空气也发生了变化，否则他是可以揭开燃烧现象的本质的．但是这一实验启发拉瓦锡(A. L. Lavoisier)和罗蒙诺索夫(M. B. Ломоносов)作出了化学史上的伟大发现．

波义耳晚期的工作是在制取磷元素方面．最早发现磷的是德国炼金家布朗特(H. Brand)，后来他以高价将磷的秘密卖给了化学家克拉夫特(J. Krafft)．克拉夫特在游历英国的时候，向波义耳透露说，磷的重要成分，乃是人身上的某种东西．波义耳绞尽脑汁，领悟到“人身上的某种东西”就是尿．经过几年的研究，波义耳终于从动物尿中制取了磷．不过按波义耳的遗嘱，制取磷的方法在他死后才公布．在以后近一百年时间里，用这个方法制取的磷就叫做波义耳白磷．

波义耳关于磷和磷化物的研究发表在《空气中的夜光》和《关于冷光的新实验和观察》两篇文章里．波义耳在这里公布了下列重要成果：磷只在空气存在时才发光；磷在空气中燃烧形成白烟，这种白烟很快就和水发生相互作用，形成的溶液呈酸性反应，就是磷酸；把磷和强碱一起加热，会得到某种气体(磷化氢)，这种气体与空气接触时，就燃烧起来，并形成缕缕白烟；把磷长期暴露于空气中，就有一股强烈的臭气产生出来，这和可见的烟不同．这些关于磷元素的知识都是非常重要的．

波义耳多方面的兴趣简直令人吃惊．在物理学方面，他确定了相当多的液体和固体的密度．他认为电和磁可以在真空中显示出来的观点很有趣．他最早使用有刻度的仪器来测定气体和液体的体积，他还命名了气压变迁观测仪和气压计．他在光学方面的研究给牛顿以有用的启发．波义耳关于热的本性的观点具有很大意义，他认为热仅仅是微粒运动的状态，恩格斯认为这种发现是“科学中的新时代”．

波义耳还在无机化学、分析化学和化学工艺方面作过很多工作．他发现空气仅有一部分支持呼吸和燃烧．他观察到当动植物体燃烧时有水析出．他在实验室里应用过硝酸和雪的冷冻混合物来作冷却剂．他用稀硫酸与铁作用得到氢并把它收集起来，他也了解到

植物-动物杂种的“热休克”技术

细胞融合是近代细胞生物学的一项重大科技成果．借此人们可以生产出诸如单克隆抗体这样的生物制剂．然而这种细胞融合技术首先须用聚乙二醇（PEG）把两个细胞的细胞膜融合起来．最近，德国汉堡大学生物系的麦克唐纳（B. MacDonald）和威摩培（W. Wimpey）不用这种细胞融合剂，而用所谓“热休克”（heat-shock）的方法首次获得了植物和动物细胞的杂种（hybrid）．

其方法是：把一个电极插入培养液内，发生极为短暂的（几个毫微秒放电．此时两种不同的细胞可以粘合起来，而培养液中含有高浓度的长链多聚不饱和脂肪（long chain polyunsaturated fats），这种脂肪相似于某些天然的植物产物．然后，他们把粘合的细胞置于营养琼脂板上于40°C下温育，数小时后这些成对的细胞完全融合起来．而且存活下来的融合细胞可以在含有葡萄糖、谷氨酸一钠（monosodium glutamate）、各种维生素、氯化钠等液体培养基中生长．

麦克唐纳和威摩培根据上述方法将番茄细胞和牛细胞融合起来．所产生的杂种细胞是番茄母本细胞，但又有粗厚的外皮．野外试验证明，成熟的“植株”具有或多或少正常的群叶．但其花只能由马蝇授粉．受精后其花发育成铁饼状小体．显微检查证实这种小体是由番茄果实薄壳裹以动物蛋白质的真正杂交体．

目前科学家们正企图把这种杂交细胞与小麦细胞杂交，以期产生小麦-番茄-母牛“超杂交体”（superhybrid）．

［章静波据 *New Scientist*, **79**, 1351 (1983) 888］

氢是可以燃烧的．在物理化学方面，波义耳是最早使用亲和性（affinitas）一词的人．

波义耳对日常生活中的科学现象也很注意．他证明了所有的水果和蔬菜都含有空气（实际上是二氧化碳）．他曾将白衣服和黑衣服放在阳光照射下的雪堆上，观察到黑色比白色更容易吸收热量．

岁月飞逝，波义耳的健康渐渐不支了．他六十多岁时，已经不能再做实验了．1691 年 12 月兰尼拉夫夫人不幸去世．二十多年来，波义耳是与这位姐姐朝夕相处的．她的去世，无疑是对波义耳的沉重打击．七天之后，即 1691 年 12 月 30 日，波义耳在自己的卧室里长眠了．他留给我们十几本重要的科学著作和十几篇有名的论文，是人类的宝贵财富．

波义耳葬于圣马丁教堂．1721 年圣马丁教堂被毁，波义耳的墳茔被湮灭了．过去的圣马丁教堂，现在已变成特拉法加广场（东北角的圣马丁教堂是后来重建的）．当人们走在这个广场上时，都会想起，在它的地下长眠着一位伟大的英国学者，他的名字是永远与现代科学技术联系在一起的．

科学 SCIENTIFIC AMERICAN 1983年第7期

要 目

海洋法
微程序设计
印度河流域文明的符号
线粒体 DNA
宇宙的未来
贮藏食物的鸟类的记忆力
振荡化学反应
尸体解剖

科学大众 游戏数学 业余科学家